

# ハンディ蛍光X線分析装置による高松塚古墳壁画の顔料調査

著者	早川 泰弘, 佐野 千絵, 三浦 定俊
雑誌名	保存科学
号	43
ページ	63-78
発行年	2004-03-31
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1440/00003621/">http://id.nii.ac.jp/1440/00003621/</a>

# ハンディ蛍光X線分析装置による高松塚古墳壁画の顔料調査

早川 泰弘・佐野 千絵・三浦 定俊

## 1. はじめに

高松塚古墳は7世紀後半から8世紀初頭の古墳と考えられ、南北2.655m、東西1.035m、高さ1.134mの小さな石室内の壁面および天井に極彩色の絵画が描かれている。昭和47年（1972年）に発見されて以来、日本絵画史の中でも極めて重要な絵画として、数多くの論説がなされてきた。高松塚古墳壁画に用いられている顔料については、発見直後に保存のための調査が行われた際、石室内の剥落片を採取して科学的な調査が実施され、その結果が報告されている。それ以来、高松塚古墳壁画の顔料調査が行われたことはなかったが、発見から30年を経過した平成14年（2002年）、東京文化財研究所では文化庁からの委託に基づき、壁画顔料の非破壊・非接触調査を行う機会を得た。その背景には、近年の調査機器の著しい進歩により、古墳石室内のような過酷で狭小な空間内においても材質調査を行うことができる機器が開発されたことが挙げられる。今回使用した機器は近年米国で開発され、日本に導入されたばかりのハンディ型蛍光X線分析装置である。蛍光X線分析はこれまでも文化財の調査に幅広く利用され、可搬型の機器も数年前に開発されているが、今回のハンディ型装置はバッテリー駆動で全重量が約2kgと片手でも簡単に扱うことができるほど小型化が図られたものである。高松塚古墳石室内において実際の壁画を対象に顔料の科学的調査が行われたのは今回が初めてである。

本報告では、平成14～15年の二カ年にわたり、ハンディ型蛍光X線分析装置を用いて計3回実施された高松塚古墳石室内での壁画顔料調査結果について、その全データを提示するとともに、それらの結果から導かれる高松塚古墳に用いられている顔料の特徴について報告する。

## 2. 従来の知見

高松塚古墳壁画の顔料調査については、発見直後にその調査・研究に当たっていた奈良県橿原考古学研究所による調査と、その後、調査主体が文化庁に移った後に組織された高松塚古墳総合学術調査会による調査の二回行われている。

奈良県橿原考古学研究所による調査結果は昭和47年10月に刊行された『壁画古墳 高松塚』<sup>1)</sup>に報告されている。この調査では、発掘の際に石室内から排出された土壌の一部（363g）中に含まれていた漆喰片101gが調査対象であり、鮮明な彩色面はほとんど存在しておらず、赤色、淡緑色、淡青色の3～4mm<sup>2</sup>の小薄片が1～2片ずつ採取されたただけであると、報告書に記載されている。顔料粉末としては1～3mgが採取できただけであり、この極微量の試料に対して繊細な前処理が行われた後、ペーパークロマトグラフィーを用いて化学分析が行われ、顔料物質が推定された。赤色顔料からは鉄、水銀、鉛イオンが検出され、ベンガラ、朱、鉛丹の3種が混色として使われたと推定された。茶褐色顔料は剥離しやすい物質で、鉄と鉛イオンが検出され、変色を考慮すると鉛丹が使われた可能性が高いと考えられた。黄色顔料からは鉄イオンのみが検出され鉛イオンは検出されなかったため、黄土であり密陀僧は使われていないと判断された。白色については漆喰および白土の可能性が考えられるが、鉛白は使用されていないと判断された。緑色および青色顔料からは銅イオンが検出され、それぞれ岩緑青、岩群青が使わ

れていると考えられた。

一方、その後に行われた高松塚古墳総合学術調査会による調査結果は昭和48年3月に刊行された『高松塚古墳壁画調査報告書』<sup>2)</sup>に報告されている。試料量や分析方法などに関する詳しい記載は見られないが、色・顔料・使用箇所が一覧表に整理され壁画顔料の全体像を把握することができる。一覧表中には、日輪・星に使われている金箔について、銀2.2%、銅0.02%を含むということまで記載されている。また、文章では上述の報告書の一部が訂正されており、赤色顔料として鉛丹は認められないこと、茶褐色の顔料は顔料ではなく、壁面を流下した地下水による汚染であることが記載されている。また、漆喰の微量分析により、マグネシウムが0.21~0.44%、鉛が0.16~0.37%検出されたことも記載されている。

これらの結果は、わが国における絵画史の初期の材料・技術を知る上で大変貴重なデータを提出したが、分析試料としては極めて微量の剥落片や脱落位置不明の顔料片が使われており、その位置を特定することはまったく困難である。このため、壁画の各部位に使用されている顔料については、目視観察を頼りに、これらの結果から類推せざるを得ない状況であった。今回のハンディ型蛍光X線分析装置による調査は、実際の壁画を分析対象とした初めての調査であり、客観的な科学的データの取得およびその評価に重点が置かれて行われたものである。

### 3. ハンディ蛍光X線分析装置の特徴

高松塚古墳の石室内は前述したように非常に狭い空間であり、しかも壁面および天井には触れることができないため、大型でAC電源の供給が必要な機器などを持ち込むことは論外である。しかも、石室内は相対湿度が常に100%に保たれており、この過酷な環境のもとで安定に作動する機器を使う必要がある。現在、世の中には多種多様の分析機器が開発され実用されているが、このような厳しい条件下で利用できる機器となると、きわめて限られたものにならないを得ない。今回使用したハンディ型蛍光X線分析装置EDAX(株)



写真1 ハンディ型蛍光X線分析装置

XT-35(写真1)は、そのような用途に耐えうる数少ない機器の一つである。これは近年米国で開発され、日本に導入されたばかりの機器である。もともとは鉱山など電源供給が困難で、しかも多湿な環境下においても、その場で簡便に鉱石などの品位を調べることができるよう開発された機器である。エネルギー分散方式の蛍光X線分析装置を基本構成とし、全重量が約2kgと片手で簡単に扱うことができるほど小型化が図られている。しかも、消費電力は5W以下であり、小型のLiイオンバッテリーだけで約8時間の連続運転が可能である。検出器にはSi-PIN半導体を利用し、ペルチェ冷却方式を採用しているため、液体窒素は不要である。データ取り込み等に関しても、本体に取り付けたパームトップ型のPC(CASIO製カシオペアE-800)によって操作されるため、きわめて操作性の良い取回しが実現されている。

今回、高松塚古墳石室内での操作性を向上させ、より安全に調査を行う目的で、市販機器に

対して以下の改良を加えて使用することとした。

照射X線のON/OFFリモートスイッチおよびパームトップ型PCのリモートケーブルを増設

X線照射位置を確認するために、照射ヘッドに微弱レーザーポインターを増設

Agの検出感度を向上させるために、X線管球をAgターゲットからReターゲットに変更

高松塚古墳石室内での測定の様子を写真2に示す。ハンディ型蛍光X線分析装置はラボジャッキ上に固定され、X線の照射とデータの取込みは遠隔操作によって行った。ラボジャッキ二台を簡易台車上に配置することで、石室内の床面から天井面まであらゆる高さの測定が行えるように工夫した。

測定ポイントは装置先端から照射されるレーザーポインターによって確認することができ、X線を照射すると直ちに測定ポイントに存在している元素の種類とその存在量がスペクトルとしてパームトップ型PCに表示される。今回、壁画顔料調査のために設定した測定条件は以下の通りである。

分析装置：EDAX(株)XT-35

X線管球：Re ( レニウム )

管電圧・管電流：35kV・8 $\mu$ A

X線照射径：約 5 mm

測定時間：1ポイント100秒

装置先端から壁画までの距離

：約10mm

この条件で測定を行った場合、大気中では原子番号19のKより重い元素については原理的に検出が可能である。しかし、元素によって検出効率が大きく異なるため、事前に純物質を用いて検出感度の評価を行った。図1は上記と同じ測定条件において、アルミニウム(Al)、チタン(Ti)、鉄(Fe)、銅(Cu)、鉛(Pb)、銀(Ag)、スズ(Sn)の純金属板(純度>99.9%)、



写真2 高松塚古墳石室内での顔料調査の様子

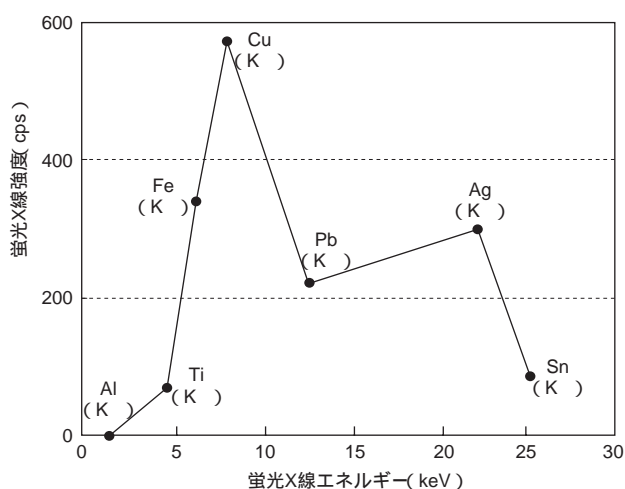


図1 元素による検出感度の相違

厚さ > 1 mm) を測定したときの蛍光 X 線強度を示している。Cu-K に対しては 570cps 以上の強度が得られているが、低エネルギー側の Al-K や Ti-K ,あるいは高エネルギー側の Sn-K については強度が Cu-K の 1/10 以下に低下していることがわかる。Al-K の強度はバックグラウンド強度と同程度であり、実質的にはまったく検出されていないことを意味している。今回の測定条件で検出可能な低エネルギー側の限界は 3 keV 前後であり、元素としてはカリウム( K )よりも原子番号の大きい元素でないと検出は困難である。彩色材料として考えてみると、例えば白土の主成分であるカオリナイト(  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  )については、いずれの構成元素も検出することができず、まったく信号強度が得られないことが予想できる。一方、Pb については K-X 線の検出は困難なため、L-X 線の検出を行うことになる。このため、Cu-K に対して Pb-L の強度は 1/2 以下に低下している。Ag についても同様に、Ag-K の強度は Cu-K の 1/2 程度である。

このように同一の測定条件であっても、元素( 蛍光 X 線エネルギー )によって 10 倍程度の感度差が存在することがわかる。本報告で提示する測定結果はすべてこの感度差を含んだものであり、一切の補正を行っていない。このため、得られた蛍光 X 線強度の値は元素間の存在量の比をそのまま現すものでは決してない。この点に十分な注意が必要である。

さらに、蛍光 X 線分析におけるデータの解釈として、以下の点についても十分注意する必要がある。

顔料に含まれている元素を特定することはできるが、その化合物の構造( 化学式 )を知ることにはできない。このため、使われている顔料を推定できるだけである( 特定・同定することは難しい )。

大気中での測定では、有機物( 主元素 C , N , O , H など )や軽元素( 例えば Al , Si , S , Cl など )の検出は行えない。有機物を主成分とする各種の染料あるいは白土( 主成分  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  )などについては、主成分の元素情報を得ることも困難である。

得られた蛍光 X 線強度は表面からある深さまでの組成情報が複合された結果であり( 金属銅の場合：数 10  $\mu\text{m}$  程度 )、複数の元素が検出された場合、単一部位の測定だけではそれらの元素が混合されているのか層状に存在しているのかの判断はできない。

分析装置と資料との距離が異なると蛍光 X 線強度は変化するため、異なる測定部位から得られた強度を比較するには、測定距離や表面の凹凸を十分考慮する必要がある。

#### 4 . 高松塚古墳壁画の顔料調査結果

ハンディ型蛍光 X 線分析装置を用いた高松塚古墳石室内での壁画顔料の調査は次の 3 回の日程で行われた。

平成 14 年 12 月 16 日 ~ 17 日

平成 15 年 4 月 23 日 ~ 24 日

平成 15 年 10 月 15 日 ~ 17 日

西壁の女子群像、男子群像、白虎、月像、北壁の玄武、東壁の女子群像、男子群像、青龍、日像、天井の星宿のすべての絵画について調査を行い、総計 173 ポイントの測定を実施した。図 2 - 1 ~ 2 - 6 に全測定結果を提示する。これらの図は各測定ポイントから検出された元素の蛍光 X 線強度( cps , カウント / 秒 )をそのまま棒グラフとして示したものであり、元素間の検出感度補正は行っていない。このため各元素の存在量の比を表すものではない。図の縦軸スケールはすべて同じであり、最大 80cps とした。80cps を超える蛍光 X 線強度が得られた測定ポイントでは、図の上部にその強度値を記した。

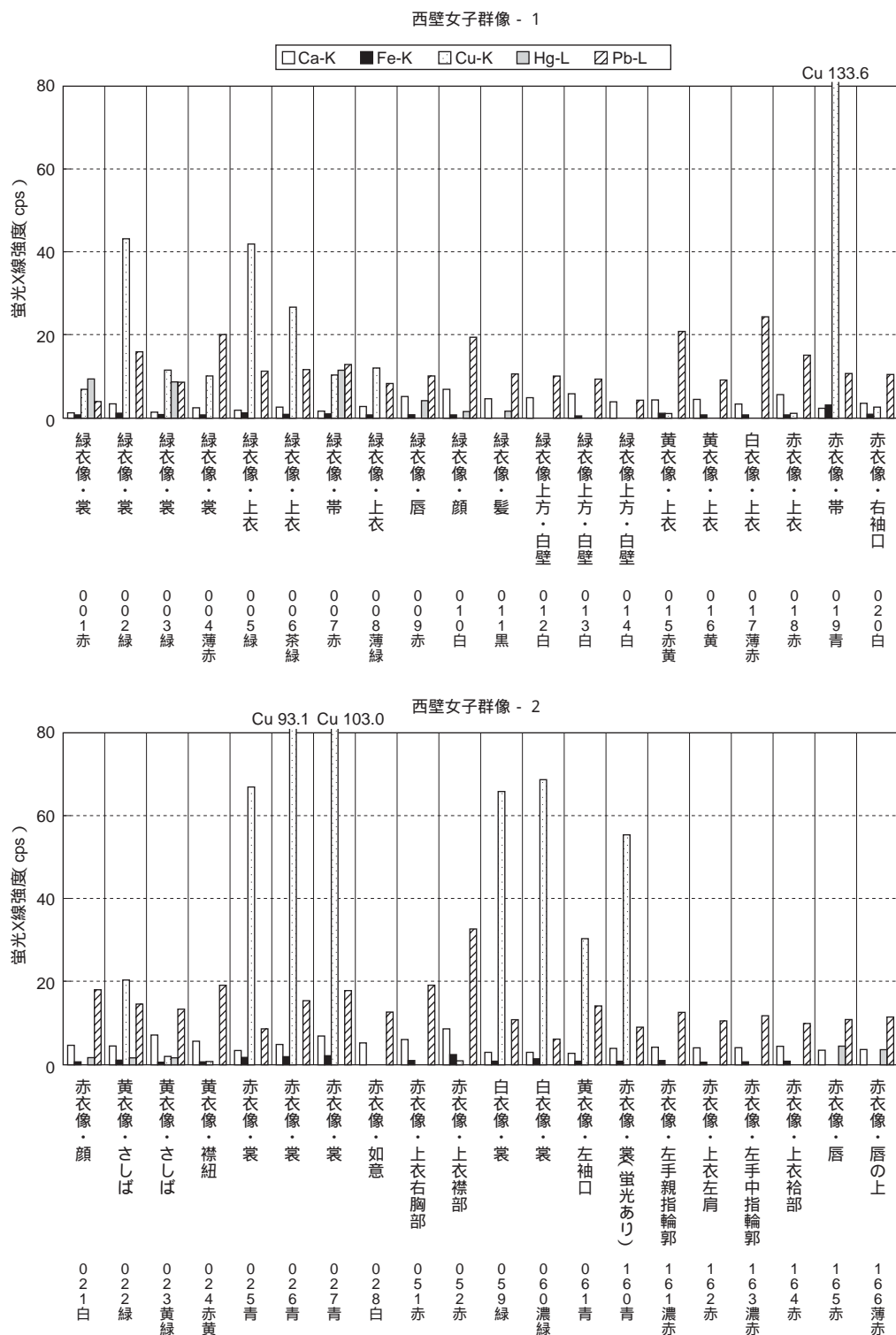


図2-1 ハンディ蛍光X線分析装置による測定結果(西壁女子群像)



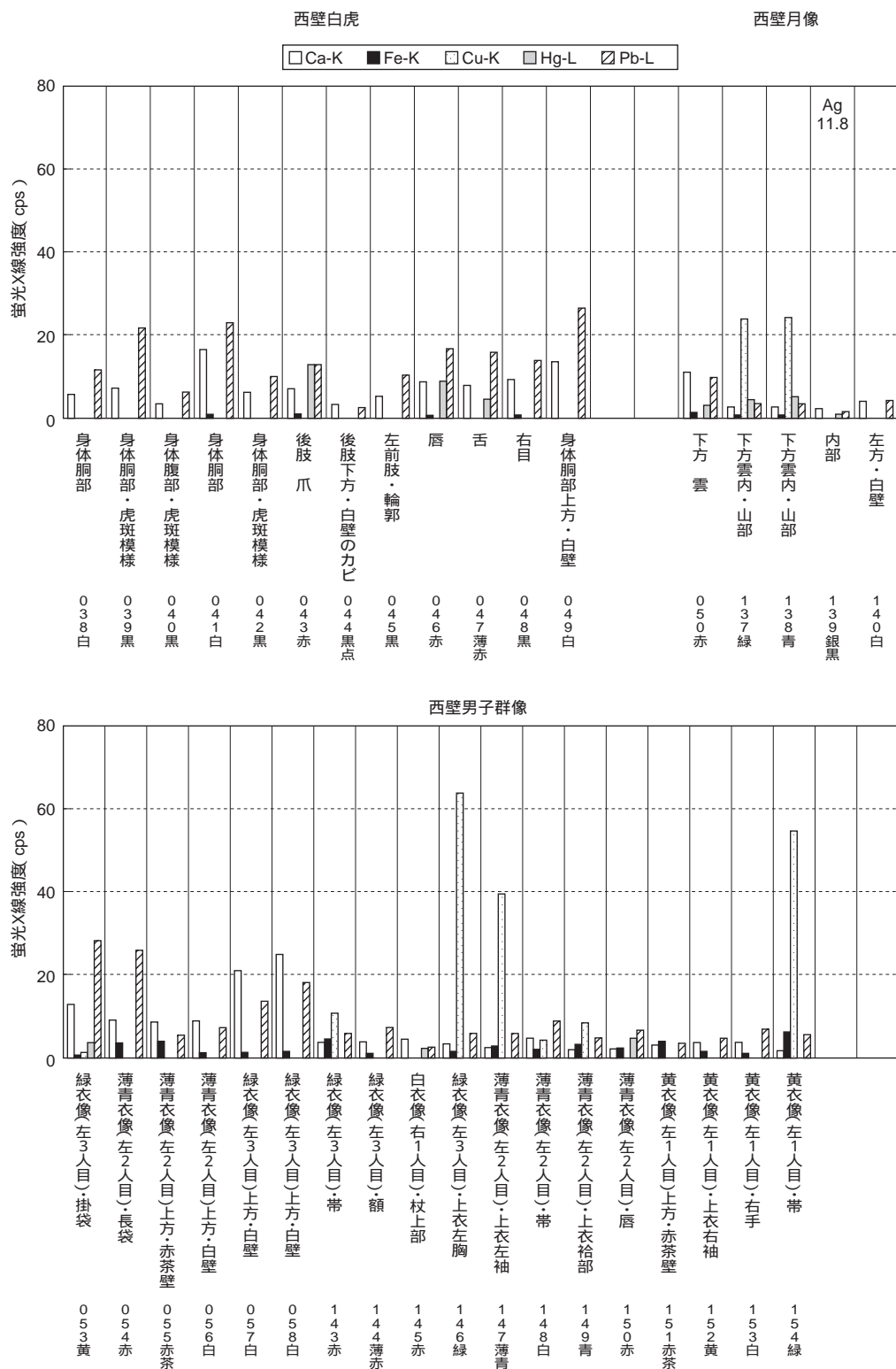


図2-2 ハンディ蛍光X線分析装置による測定結果(西壁白虎, 月像, 男子群像)

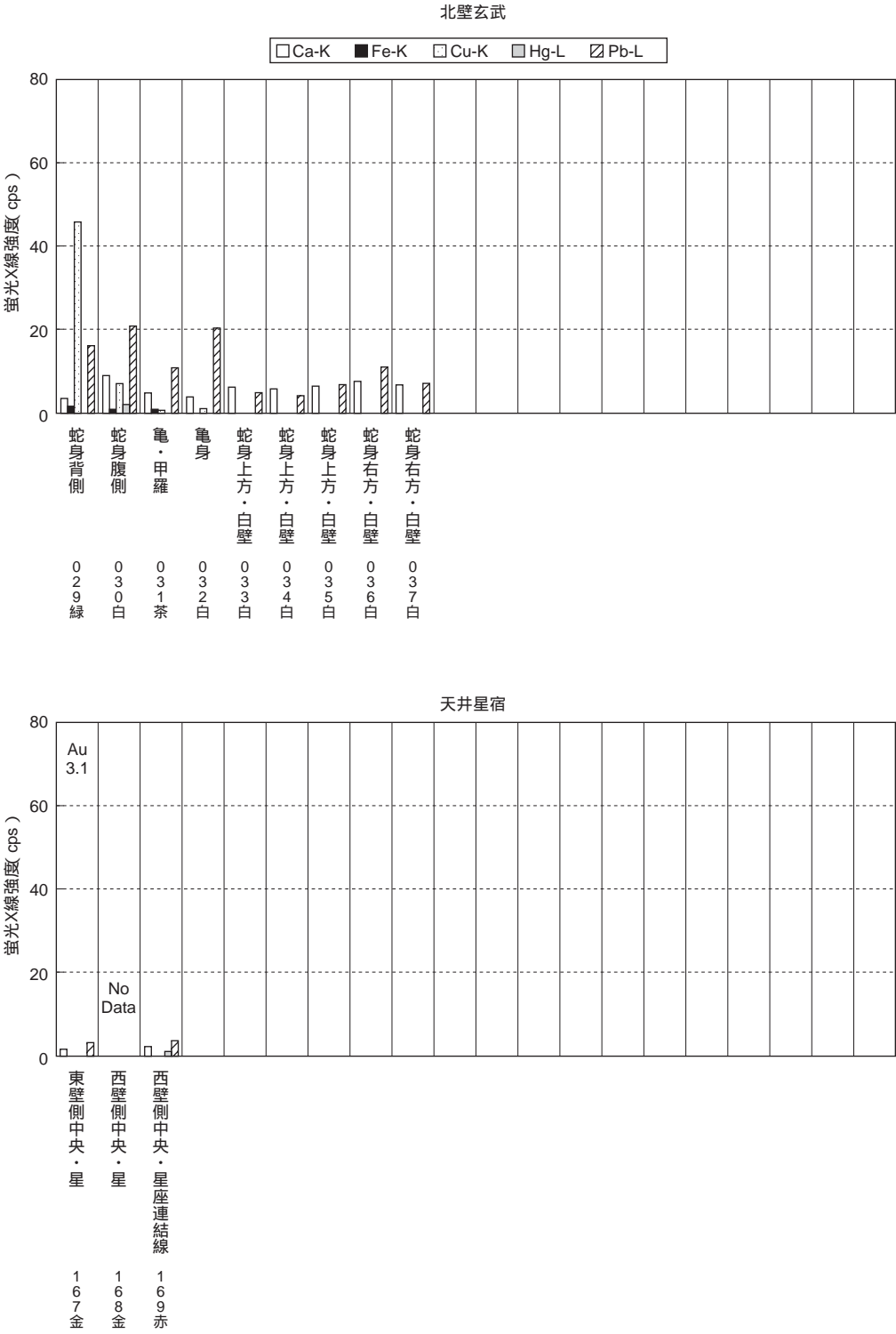


図 2-3 ハンディ蛍光X線分析装置による測定結果（北壁玄武，天井星宿）



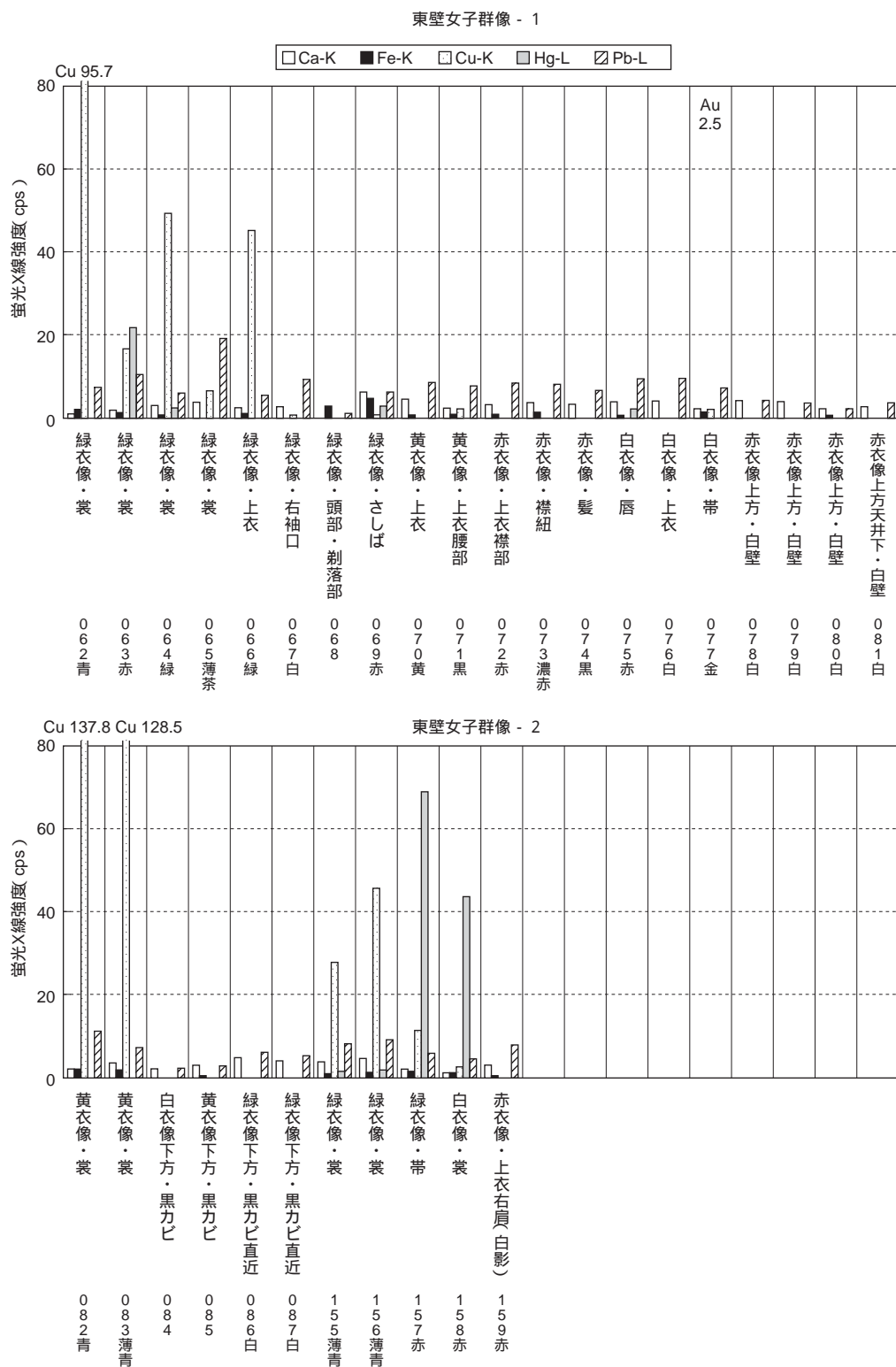


図2-4 ハンディ蛍光X線分析装置による測定結果(東壁女子群像)

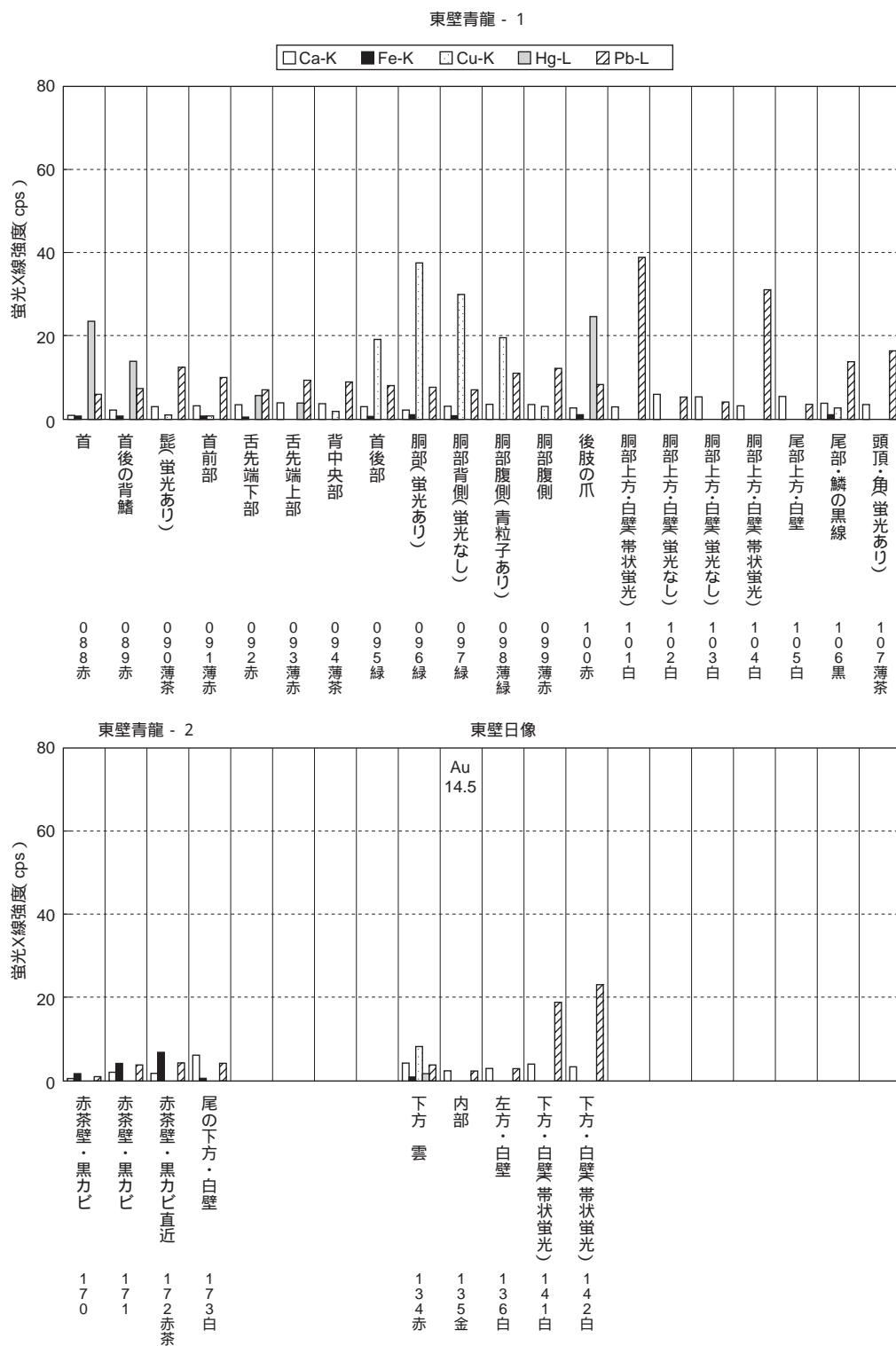
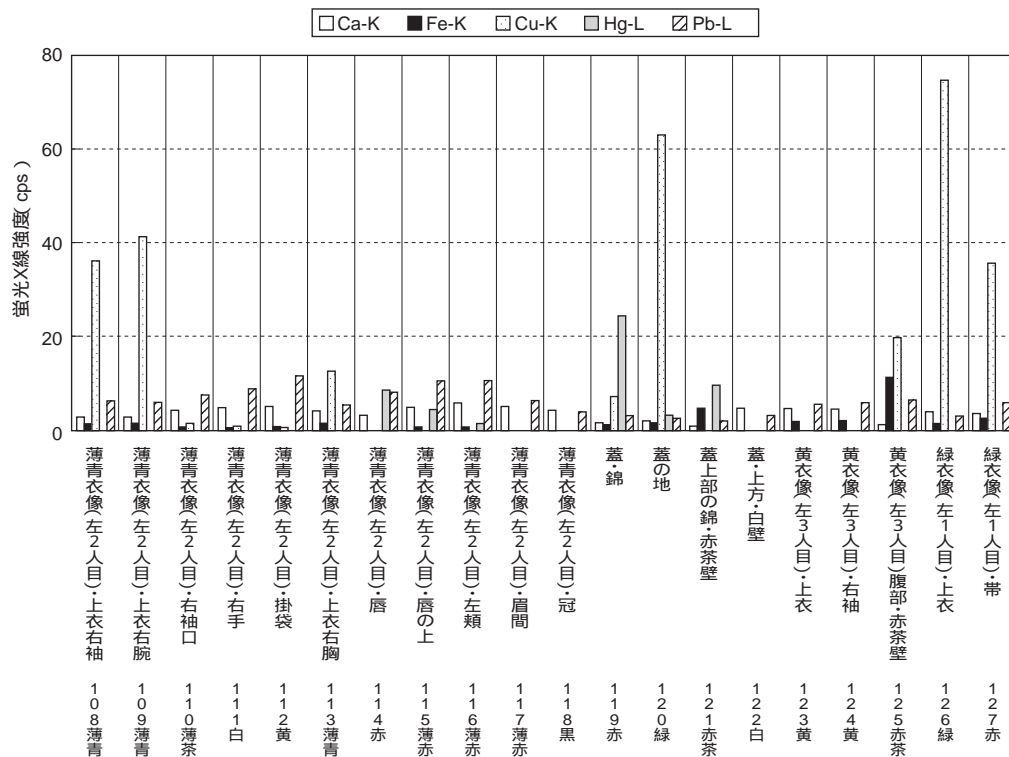


図2-5 ハンディ蛍光X線分析装置による測定結果(東壁青龍, 日像)

東壁男子群像 - 1



東壁男子群像 - 2

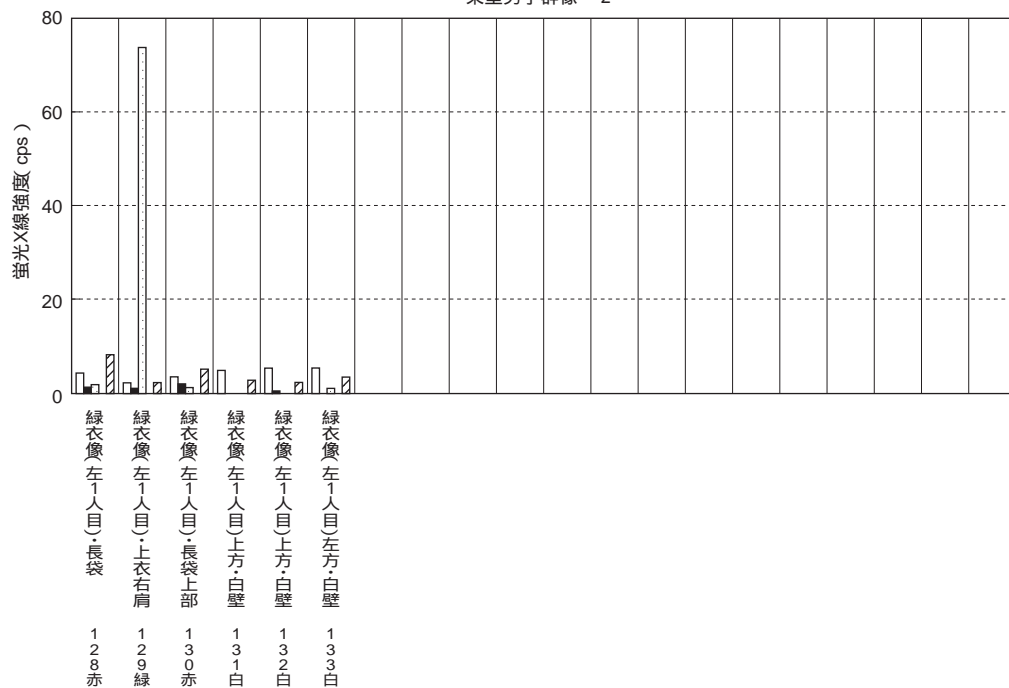


図2-6 ハンディ蛍光X線分析装置による測定結果(東壁男子群像)

今回の調査で検出された元素はカルシウム (Ca), 鉄 (Fe), 銅 (Cu), 水銀 (Hg), 鉛 (Pb), 金 (Au), 銀 (Ag) の7元素だけであった。図では, これらの元素について, 最も特徴的かつ他の元素から放出される蛍光X線との重なりが少ないピークを選んでその強度を示した。Ca, Fe, Cu, Hg, Pbの5元素については棒グラフとして検出強度を示し, AuおよびAgについては検出されたポイントにその強度値を記した。

以下に, 特徴的な元素ごとに今回の調査結果の概要を記述する。

#### (1) Pbについて

今回の調査結果で最も特徴的なのはPbがすべての測定箇所から検出されたことである。絵が描かれている部分だけでなく, その周囲の部分からもPbが検出された。例えば, 西壁女子群像についてみると, 絵が描かれていない人物上方の白壁部分 (No.012, 013, 014) からPbが検出された。絵が描かれている部分については, 用いられている彩色材料の種類や厚みの違いによってPbの検出量はまちまちであった。一方, 絵が描かれていない部分については, 絵からの距離によって検出量が異なる傾向が得られた。発掘直後の調査報告書<sup>2)</sup>においても, 石室内の漆喰片からPbが0.16~0.37%程度検出されたことが記載されているが, 今回のPb検出量はこれをはるかに凌ぐものである。今回の測定結果について定量的な評価を行うことは難しいが, ハンディ型蛍光X線分析装置のPb検出下限が0.1%前後であると考えられることから, %レベルを超えるPbを検出していることは明らかである。このレベルのPbが漆喰中に自然に含まれるとは考えにくく, しかも漆喰自体には%レベル以下のPbしか含まれていないという従来の知見を併せて考えると, 下地の漆喰層の上にPbを含んだ材料によって彩色のための下地層を作り, その上に絵を描いていたと推測することができる。ただし, その材料組成は今回の調査では特定できなかった。

さらに, Pbに関して特筆すべき点は, 東壁日像直下から青龍の胴部中央あたりにかけて幅4~5cm程度で縦に帯状に伸びる部分 (No.101, 104, 141, 142) について, そのすぐ脇 (No.102, 103) や他の白壁部分に比べてPb強度が5~10倍程度高い結果が得られたことである。この部分は他に比べてやや平滑度が高いように見え, 何らかの物質が流下したとの見方もあったが, 今回の調査によると下方のほうがPb強度が高く, しかも上方に位置する日像部分にPbが多く存在している箇所が見られないことから, 物質の流下説は否定される。他の研究者による調査<sup>3)</sup>で, 可視光励起を行うとこの部分からは明らかな蛍光反応が認められることが確認されており, 現状では彩色の痕跡を見出すことはできないが, 当初は何らかの彩色が施されていた可能性が高いと考えられる。同様の現象は西壁白虎上方 (月像下方) についても観察され, 白虎上方の白壁部分 (No.049) ではやはりPb強度が他の白壁部分に比べて非常に高い結果であった。

また, 最近の調査で明らかになった黒カビ発生の箇所についても測定を行ったところ, 大変興味深い結果が得られた。西壁白虎の下方 (No.044) や東壁女子群像下方 (No.084, 085) あるいは東壁青龍の左方 (No.170, 171) などの黒カビ発生箇所から得られたPb検出量は, その周囲の白壁部分 (カビ発生なし) に比べて一様に少ないことが明らかになった。壁面によってPb検出量に若干の差異があり, 現時点では黒カビの発生とPb存在量との定量的な関係は明らかになっていないが, 彩色が存在しない部分や表層が剥落した箇所に黒カビの発生が多く見られることから, 上述のPbを含んだ彩色下地の可能性を考えた場合, その存在が黒カビの発生に何らかの影響を与えていると考えることもできる。今後, 壁面の水分量や温度分布などを併せて考えることで, カビ発生の原因解明に役立つかもしれない。

## (2) Cuについて

Cuは緑色顔料の緑青や青色顔料の群青の主構成元素であり、従来の調査結果<sup>1,2)</sup>にも高松塚古墳壁画の中に広く使われていることが記されている。今回の調査でも、緑色および青色を示している箇所から大量のCuが検出された。例えば、西壁女子群像では緑色を呈している裳(No.002)、上衣(No.005, 008)、あるいは青色を呈している帯(No.019)、裳(No.025, 026, 027, 160)などから、また西壁月像の山部(No.137, 138)あるいは北壁玄武の蛇身背側(No.029)などからも検出されている。これらはすべて、Cuを主成分とする緑青や群青が使われていることを支持する結果である。ただし、緑色部分あるいは青色部分だけをみても微妙に異なった色彩を呈している部分があり、測定箇所によって蛍光X線の検出強度にもかなりの差異が認められた。例えば、西壁女子群像の赤衣像の裳はその襷すべてが青色で描かれているが、襷によって微妙に異なる色彩を呈しており、隣接する襷を測定してみても(No.025, 026, 027)、Cu強度に2倍近い差が生じていることがわかる。これらの測定は、できる限り剥落がなく健全な状態で残っている箇所を選定して行っており、同一の材料が使われていたとしても、その顔料層の厚みあるいは粒度などに違いが存在する可能性を示唆する結果である。これらの色彩の違いを正確に評価するには、これまではあまり議論されていなかった染料などの有機物を含めた他の材料との塗り重ねについても考慮することが必要であると思われる。

また、これらの緑色、青色を呈している部分からすべてPbが検出された。緑色を呈している箇所について、検出されたCu強度とPb強度の関係を調べた結果を図3に示す。この図は、緑色に塗られている領域が比較的広く、周囲に存在している緑色以外の顔料をほとんど検出していないと考えられる17箇所の測定ポイントのデータをプロットしたものである。データのばらつきはあるものの、Cu強度が大きい箇所ほどPb強度が小さくなっている傾向を読み取ることができる。緑色顔料として緑青を考えた場合、これをPb系の顔料と混ぜ合わせたり、塗り重ねたりすることは通常は考えにくく、図3の結果を解釈するには、PbがCuの下層に存在していると考えるのが最も無理がない考え方である。上層のCu量が少なければ下層のPbが大きく検出され、逆に上層のCuが大量に(厚く)存在していれば、下層に存在しているPbは検出しにくくなる。図3の結果は、上記の(1)で記述したPbを含んだ彩色下地の存在という考え方を強く支持するものである。

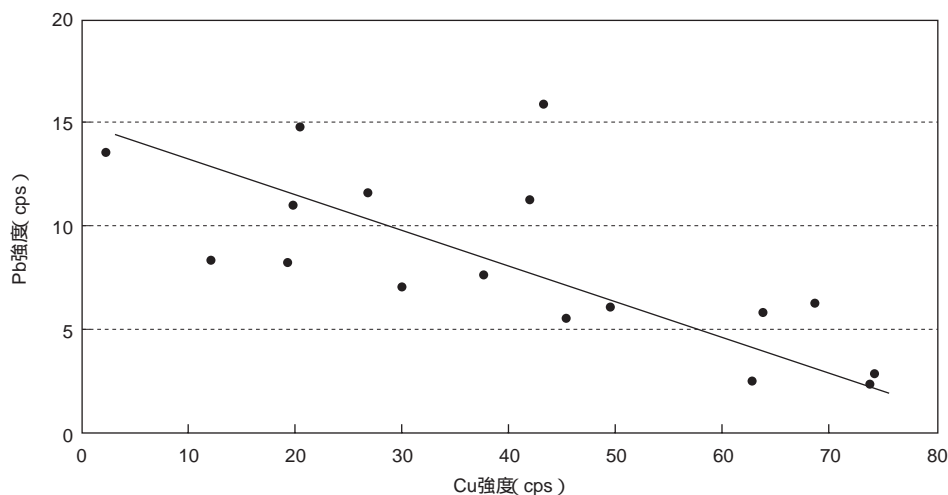


図3 緑色部分のCu-Pb強度の関係

### (3) Hgについて

Hgは代表的な赤色顔料である朱(辰砂)の主構成元素であり、今回の調査でも様々な箇所からHgが検出された。例えば、西壁女子群像では裳(No.001)、帯(No.007)唇(No.009)などから、また西壁白虎の爪(No.043)や舌(No.047)、あるいは東壁青龍の首(No.088)や背鰭(No.089)、さらには天井の星座連結線(No.169)などから検出されている。一方、従来の報告<sup>2)</sup>では朱の赤色であると判断されていた西壁女子群像の赤衣像上衣(No.018, 051, 052, 162, 164)や東壁女子群像の赤衣像上衣(No.072, 073, 159)からはHgは一切検出されず、Hg系の赤色顔料は使われていないことが明らかになった。これらの箇所ではPbが比較的検出されているが、(1)で記述したPbを含んだ彩色下地の可能性を考えると、Pb系赤色顔料が使用されていると判断することはできない結果である。また、西壁・東壁の女子群像および男子群像の中の緑衣像にはいずれも赤色の帯が描かれているが、女子像の赤色帯(No.007, 157)からはHgが多く検出されたのに対し、男子像の赤色帯(No.143, 127)からはHgはまったく検出されなかった。男子像の赤色帯に使われている赤色材料は、西壁・東壁の女子群像の赤衣像上衣と同じ材料であると思われる。このように、衣部分だけを考えても部位によって二種類以上の赤色顔料が明確に使い分けられていることが明らかになった。

さらに、Hgに関して特徴的なのは、人物の顔部分からわずかではあるがHgが検出されることである。西壁女子群像の緑衣像や赤衣像の顔(No.010, 021)、あるいは東壁男子群像の薄青衣像の顔(No.116)などから明らかにHgが検出されている。他の人物像については剥落などにより、Hgの有無を判断することが困難であったが、Hg系赤色顔料を白色顔料と混ぜることで、人物の肉身部分を単なる白色ではなく、わずかに赤みをおびた色として描いていた可能性が示唆される結果である。

### (4) Caについて

Caについても、検出量は小さいがほとんどの測定箇所から検出された。漆喰層の主成分として含まれているCaが検出されたものと考えられるが、絵によってその検出量に若干の違いが見られる。西壁女子群像に比べ、西壁白虎像ではほとんどの測定箇所ですべて約2～3倍の強度のCaが検出された。彩色部分のPb検出量にそれほど大きな差異がないことから、(1)で記述したPbを含んだ彩色下地を仮定しても、絵によってCa検出量に差異が認められる結果であった。

### (5) Feについて

Feについても、検出された箇所は比較的多いものの、検出強度はどれもかなり小さいものであった。Feは泥土などには必ず含まれており、彩色層や漆喰層に付着あるいは含まれている鉄分、さらにはその下層の岩体に含まれている成分が検出されたと考えられるレベルである。従来の報告では、西壁男子群像の赤色長袋(No.054)や東壁男子群像の赤色長袋(No.128, 130)でFeを主成分とした赤色顔料のベンガラが用いられていると報告されていた<sup>1, 2)</sup>が、これらの箇所から顕著なFeを検出することはできなかった。他の研究者による高解像度のデジタル撮影画像<sup>3)</sup>を見ると、これらの赤色部分はどれもやや色が透けているように見え、粒子感のある顔料が使われているとは考えにくい。今回のハンディ型蛍光X線分析装置による調査では、ベンガラが顕著に使われていると考えられるほどFeが大きく検出される箇所を見出すことはできなかった。Feを含んだ赤色(茶色)顔料として、代赭が利用されている可能性も十分考えられるが、現状においてその評価を行うことは困難であった。今回の調査でFeが比較的大きく検出されたのは、東壁男子群像部分(No.121, 125)および西壁男子群像(No.151)に流下したように

見られる赤褐色部分についてである。これらの箇所は他の箇所に比べて明らかにFe強度が高く、鉄分を多く含んだ水分のしみ出しによるものであると考えられた。

#### (6) AuおよびAgについて

AuおよびAgが検出された箇所は非常に少ない。Auが検出されたのは東壁女子群像の白衣像の帯 (No.077)、東壁日像 (No.135) および天井星宿の星 (No.167) の3箇所だけであった。また、Agが検出されたのは西壁月像 (No.139) のただ1箇所だけであった。これらは、金箔および銀箔が使われていると考えられていた箇所であり、今回の調査で検出強度は高くないが、確かにAuおよびAgが存在していることを確認することができた。

## 5. まとめ

以上、ハンディ型蛍光X線分析装置を用いた高松塚古墳壁画の顔料調査について、その結果を簡単にまとめた。今回の調査は最新の機器を導入することによって、現地での非破壊調査を実現することができたものである。しかし、本文中でも触れたように、染料や軽元素を主体とした彩色材料の情報は全く得られていないのが現実である。他の研究者による調査では、高松塚古墳壁画に染料や軽元素を主体とした材料が使われている可能性が示唆されており<sup>3)</sup>、これらの情報と今回の調査結果を総合することによって高松塚古墳壁画に用いられている彩色材料・技法に関する詳細な知見が得られるものと期待される。

本報告では、ハンディ型蛍光X線分析装置によって得られた測定結果をすべて掲載した。多くの研究者によってこれらの結果が活用され、客観的なデータに基づいた議論により高松塚古墳壁画に関する正しい理解が進むことを期待する次第である。

#### 参考文献

- 1) 橿原考古学研究所編：『壁画古墳 高松塚』調査中間報告書、奈良県教育委員会・奈良県明日香村刊行 (1972)
- 2) 『高松塚古墳壁画調査報告書』：高松塚古墳総合学術調査会 (1973)
- 3) 文化庁監修：『国宝高松塚古墳壁画』、中央公論出版 (2004)、印刷中

キーワード：高松塚古墳 (Takamatsuzuka tumulus)；壁画 (mural)；顔料 (pigment)；蛍光X線分析 (X-ray fluorescence spectrometry)



## Analysis of the Pigments Used in the Murals of Takamatsuzuka Tumulus by a Handy-sized X-ray Fluorescence Spectrometer

Yasuhiro HAYAKAWA, Chie SANO and Sadatoshi MIURA

The pigments used in the murals of Takamatsuzuka tumulus at Asuka, Nara Prefecture, were analyzed by a handy-sized X-ray fluorescence spectrometer. This state of the art instrument in the field of X-ray analysis has been recently developed in US. It was taken into the stone chamber of the tumulus in order to analyze the murals directly. Approximately 170 points of 5mm diameter each on the east, west and north walls and the ceiling were measured non-destructively by using an X-ray beam of 35kV-8 $\mu$ A. All data obtained are presented in this report.

Seven elements, Pb, Cu, Hg, Ca, Fe, Au and Ag, were detected. Pb was detected from every point measured. The intensity of Pb obtained from the points on the figures were different depending on the kinds and the thickness of pigments used. In addition, a small amount of Pb was detected even from the points where there are no figures. It was assumed that there was an underlayer containing Pb for coloring on the stones coated with plaster. The areas including high content of Pb were found from above the figure of the Blue Dragon (*Seiryu*) at the center of the east wall and from above the figure of the White Tiger (*Byakko*) at the center of the west wall. Furthermore, the intensity of Pb detected from areas below the figure of the White Tiger (*Byakko*) on the west wall and below the figure of the group of four women on the east wall, which had been recently damaged by fungus, was very low.

Cu was detected with high intensity from the areas with green and blue colors, for which malachite and azurite are assumed to have been used respectively. It was found that the intensity of Pb detected was lower at positions where the intensity of Cu was higher. This supports the existence of an underlayer containing Pb for coloring.

Hg was detected from the area of red color such as on the lips of human faces and the folds on skirts. However, no Hg was detected from the impressive red-colored areas of the clothes of each of the woman on the east and west walls respectively. Furthermore, Hg was detected from the red-colored belt of the woman with green clothes, but not detected from that of the man.

Ca and Fe were detected from many points measured. However, the intensities of both elements were lower than those of the other elements described above. Ca that was detected is assumed to be the major component of plaster on the stones. Red-colored areas drawn with a pigment containing Fe as a major component could not be found.

Au was detected from the figure of the sun on the east wall and the stars on the ceiling. Ag was detected only from the figure of the moon on the west wall.